(19) JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001110784 A**

(43) Date of publication of application: **20.04.01**

(51) Int. Cl **H01L 21/3065**
C23F 4/00
H01L 21/768
H05H 1/46

(21) Application number: **11289148**

(22) Date of filing: **12.10.99**

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(72) Inventor: **IZAWA MASARU**
YOKOGAWA KATANOBU
NEGISHI NOBUYUKI
MOMOI YOSHINORI
TAJI SHINICHI

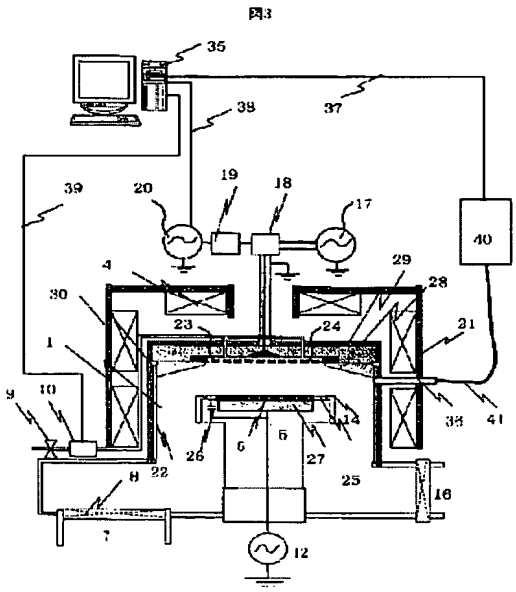
(54) **APPARATUS AND METHOD FOR PLASMA TREATMENT**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an etching method for obtaining a fine machined shape, especially a vertical shape having less bowing when machining an insulating film in semiconductor manufacturing.

SOLUTION: Amount of O, F or N radical incident quantity that becomes excessive at the initial stage of etching is controlled with a gas flow rate or the consumption quantity of O, F and N in an inner wall face is controlled with etching time to suppress excessive O, F and N. The flow rate or consumption quantity is controlled, based on a plasma measurement result in etching and a stably etched shape is obtained. Etching rate and selectivity are maintained, and bowing can be reduced in the work of a hole and an organic film in an insulating film. Thus, a semiconductor device can be manufactured more finely.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO



(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)**公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開2001－110784
（P2001－110784A）
(43)公開日　平成13年４月20日(2001.4.20)

(51)Int.Cl.[7]	識別記号	ＦＩ		テーマコード（参考）
Ｈ０１Ｌ　21/3065		Ｃ２３Ｆ　4/00	Ｅ	４Ｋ０５７
Ｃ２３Ｆ　4/00			Ｚ	５Ｆ００４
		Ｈ０５Ｈ　1/46	Ｌ	５Ｆ０３３
Ｈ０１Ｌ　21/768			Ａ	
Ｈ０５Ｈ　1/46		Ｈ０１Ｌ　21/302	Ｂ	

審査請求　未請求　請求項の数19　ＯＬ　（全 11 頁）　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平11－289148

(22)出願日　平成11年10月12日(1999.10.12)

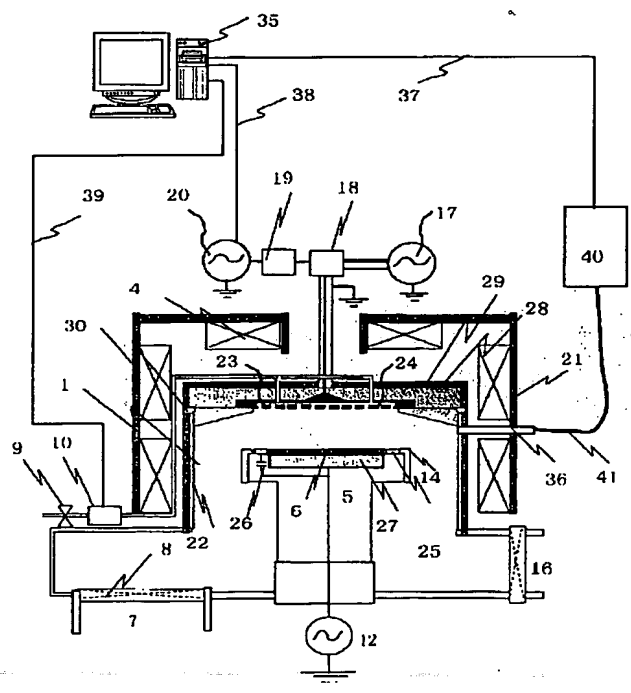
(71)出願人　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地
(72)発明者　伊澤　勝
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　横川　賢悦
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(74)代理人　100075096
弁理士　作田　康夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　プラズマ処理装置および処理方法

(57)【要約】
【課題】　半導体製造における絶縁膜加工において、微細加工形状、特にボーイングの少ない垂直加工形状が得られるエッチング方法を提供する。
【解決手段】　エッチング初期に過剰になるＯ、ＦもしくはＮラジカル入射量をガス流量もしくはＯ、ＦおよびＮを内壁面での消費量をエッチング時間とともに制御し、過剰なＯ、ＦおよびＮを抑制する。さらに、安定したエッチング形状が得られるようにエッチング中のプラズマ計測結果を基に、上記流量もしくは消費量を制御する。
【効果】　エッチング速度および選択性を維持して、絶縁膜のホールおよび有機膜の加工においてボーイングが低減できるため、より微細な半導体デバイス製造が容易になる。

図3



【特許請求の範囲】

【請求項１】真空排気手段により真空状態に保持される処理室において、前記処理室に設けられたガス導入手段によりガスを前記処理室に導入し、前記導入ガスを前記処理室内でプラズマ化する手段によって前記導入ガスをプラズマ化し、前記プラズマに被処理物に接触もしくは非接触の状態になるように前記被処理物を前記処理室内に設置することにより、前記被処理物を処理するプラズマ処理装置において、処理時間とともにプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項２】請求項１において電極もしく前記高周波を導入するために設置されたアンテナを有し、前記電極もしくは前記アンテナに第２の高周波を印加する手段を有し、第２の高周波パワーを処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項３】請求項１においてガス流量を処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項４】請求項１、２もしくは３において、被処理物の状態もしくはプラズマ中のラジカルを計測する手段を有し、前記計測する手段と同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項５】請求項１、２、３および４において、変化させるラジカルがＯもしくは、ＦもしくはＮであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項６】請求項１から５において、被処理物上に形成された絶縁膜をエッチングすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項７】請求項６において、被処理物上に形成された絶縁膜が酸化膜で、プラズマの計測手段が発光計測器で、SiF/CF_2の発光強度比を計測することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項８】請求項６において、被処理物上に形成された絶縁膜が有機膜で、プラズマの計測手段が発光計測器で、ＣＮの発光強度を測定することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項９】請求項１から８において、第２の高周波を印加する電極もしくはアンテナがＳｉもしくはＣを含むことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項１０】請求項１から９において、プラズマを生成する高周波の周波数が３００ＭＨｚから９００ＭＨｚで、前記高周波を真空処理室内に設けられた平板アンテナを用いて導入し、真空処理室周辺に設けられたソレノイドコイルで磁場を印加し、電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成し、平板アンテナと被処理物表面の距離が２０ｍｍから１５０ｍｍであることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項１１】プラズマ処理室に高周波を導入しプラズマを生成して被処理物をプラズマ処理するプラズマ処理方法において、処理時間とともにプラズマ中の解離ラジカル量を制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１２】請求項１１において、電極もしく前記高周波を導入するために設置されたアンテナに第２の高周波パワーを処理時間とともに変化させて印加することにより、プラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１３】請求項１１においてガス流量を処理時間とともに変化させることによりプラズマ中のラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１４】請求項１１、１２もしくは１３において、被処理物の状態もしくはプラズマ中のラジカルを計測する手段と同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１５】請求項１１、１２、１３および１４において、変化させるラジカルがＯもしくは、ＦもしくはＮであることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１６】請求項１１から１５において、被処理物上に形成された絶縁膜をエッチングすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１７】請求項１６において、被処理物上に形成された絶縁膜が酸化膜で、プラズマ中のSiF/CF_2の発光強度比に同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１８】請求項１６において、被処理物上に形成された絶縁膜が有機膜で、プラズマ中のＣＮの発光強度に同期してラジカル量を変化させることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項１９】請求項１１から１８において、第２の高周波を印加する電極もしくはアンテナがＳｉもしくはＣを含む材料であることを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の微細加工に用いるドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関し、特に絶縁膜の高精度ドライエッチング加工を実現するドライエッチング装置及びドライエッチング方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】半導体装置において、ウェハ上に形成されたトランジスタとメタル配線間およびメタル配線間を電気的に接続するために、トランジスタ構造上および配線間に形成された絶縁膜（SiO_2を主成分とする薄膜、以後、酸化膜と呼ぶ）に、ドライエッチング方法でコンタクトホールを形成し、コンタクトホール内に電気伝導体を充填する。ドライエッチングでは、エッチングガスを真空容器に導入し、このガスに高周波バイアスもしくはμ波を印加しプラズマを発生させ、プラズマ中で生成した活性種およびイオンによって酸化膜を選択的に

エッチングし、コンタクトホールを形成する。このエッチングに際して、ホールパターンを転写したレジスト薄膜が酸化膜上に形成されている。このコンタクトホール加工では、レジスト膜，コンタクトホールの下部にある配線層、もしくは被エッチング膜とは別の絶縁膜、もしくはトランジスタを形成しているシリコンに対し選択的に酸化膜をエッチングする必要がある。

【０００３】上記コンタクトホールの加工は、エッチング装置内にCF_4，CHF_3，C_4F_8、C_4F_6、C_5F_8等のフロロカーボンガスおよびＡｒガスを導入し、０．５Ｐａから１０Ｐａのガス圧力条件で高周波プラズマ放電して、ウェハに０．５から２．０ｋＶのＶｐｐ電圧が印加される条件でエッチングを行っている。配線層間の酸化膜が厚く、コンタクトホールのアスペクト比（深さ／直径）が高い場合には、ホール開口性を高めるため酸素ガスおよびＣＯガスの添加、ＣＯガスの添加ではさらにレジストおよび窒化膜に対する選択性を高める効果がある。

【０００４】近年、半導体デバイスの高速化のため、配線材料としてＣｕが用いられ、配線間の絶縁膜として、有機絶縁膜、有機酸化ケイ素膜等の検討が進められている。有機絶縁では、窒素を含むガスが用いられ、有機酸化ケイ素膜では、酸化膜とほぼ同じガスが用いられる。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のエッチング装置で、アスペクト比の高いコンタクトホールの加工を行う場合、エッチングが停止し非開口になる問題を避けるため、過剰に酸素ガスやＣＯガスを添加する必要があった。ＣＯが酸素ラジカルの供給源となるため、酸素ラジカルが過剰な条件でのエッチングになっていた。しかしながら、酸素ラジカルが過剰になるとホール上部では、側面に堆積膜が形成されず、マスク等で散乱されたイオンの入射により、ホール加工形状が広がってしまっていた。このホールの広がりは、ホール開口部（上部）より若干深い位置で発生する。詳細には、ホール開口部に比べホール径が広がり、ホール深さが深くなるに伴いホール径は小さくなる形状になる。すなわち、ホール中程でサイドエッチングが発生した加工形状になる。このようにホール径が広がる現象のことをボーイングという。

【０００６】ボーイングが発生すると、ホール内に多結晶シリコンやタングステン等の電気伝導体を充填する際に隙間ができ、半導体デバイスの不良の原因になる。このボーイングは、ホールのアスペクト比が高くなると顕在化するため、半導体デバイスの微細化の障害となってきた。特に酸化膜エッチングでは、アスペクト比６以上でボーイングが現れ、アスペクト比の増加とともにボーイングが大きくなる。半導体デバイスの微細化が進み、アスペクト比１０以上の加工必要となっているが、ボーイング形状とのトレードオフにより微細化が難しくなっている。

【０００７】酸化膜以外の材料でも、同様にこのボーイング現象は発生し、特に有機絶縁膜で顕著になる。条件にもよるが、有機絶縁膜および有機酸化ケイ素膜では、アスペクト比２．５程度以上で顕在化する。これらの薄膜は配線間の絶縁膜として用いられるため、ホールアスペクト比は、微細なところで５から１０程度である。

【０００８】ボーイングを防ぐために、堆積性ガスを添加する場合があるが、エッチング速度が低下する等の副作用がある。

【０００９】本発明が解決しようとする課題は、エッチング中にボーイングを引き起こすラジカルを抑制することにより、ボーイングを小さくして微細な絶縁膜加工を実現することである。

【００１０】

【課題を解決するための手段】C_4F_8ガスとＣＯガスによる酸化膜エッチングの場合、プラズマ中での解離により、CF_2、Ｆ、ＯおよびＣが主に生じる（これら原子分子の名称にラジカルをつける場合があるが同じものである）。これ以外にも、CF_3、ＣＦ、C_2F_4、C_3F_7等も発生するがここでは本発明の概略に影響ないことから省略して説明する。CF_2、Ｆ、ＯおよびＣのホール側面における付着係数Ｓは、$S_C > S_F \fallingdotseq S_O > S_{CF2}$となっている（$S_C$、$S_F$、$S_O$、$S_{CF2}$はそれぞれＣ、Ｆ、Ｏおよび$CF_2$の付着係数である）。ここで、便宜上ＦやＯについても付着係数で表したが、この付着係数は、堆積膜のエッチング確率に対応する。上記付着係数の関係を用い、Ａｒ、C_4F_8、O_2、ＣＯ混合ガスプロセスにおける側面付着量のホールアスペクト比依存性を求めた概念図を図１に示す。付着係数の関係により、Ｃはマスクに対する保護膜となりうるが、曲線１０２に示すようにホールのアスペクト比が高くなるとホール内への到達量は激減する。一方、CF_2は、曲線１０３に示すようにホールのアスペクト比が高くなってもほとんど減少しない。これらに対し、ＦおよびＯは、ホール上部で堆積性ラジカルＣおよびCF_2と反応するため、曲線１０１に示すようにアスペクト比の高いホールの場合底面付近への到達量が少なくなる。

【００１１】アスペクト比の高いホールを加工するためには、過剰なCF_2によるエッチング停止を抑制するため、ＯおよびＦラジカルを大量に供給する必要がある。このため、ホールの浅い部分ではＯおよびＦラジカルが過剰になり、ＣおよびCF_2による側壁堆積膜がほとんど形成されない。このため、ホール上部で散乱されたイオンがホール側面に入射すると、SiO_2膜がエッチング（もしくはスパッタ）されボーイングを引き起こすのである。ＣおよびＣＦ$_2$で形成された堆積膜が２ＦおよびＯでエッチングされると想定する場合、図２の曲線２０１に示すような加工形状の寸法シフトが生じる。ここで、負の寸法シフトがボーイングである。ボーイングが

アスペクト比３．５程度で生じる。

【００１２】同一条件でホールをエッチング（以後、無制御エッチングと呼ぶ）する場合、アスペクト比の最も高いホールにＦおよびＯラジカルの量を合わせる必要がある。しかしながら、ホールアスペクト比は、エッチングの進行に伴い増加するため、エッチング初期では、レジスト膜厚を加えても、直径０．２μｍ以下のアスペクト比３程度である。この初期アスペクト比は、デバイスの微細化が進むとになるとレジスト膜厚が薄くまるため、半導体デバイスの世代によってあまり変わらない。このように、初期のアスペクト比が小さいことから、無制御エッチングでは、エッチング初期には、ＦおよびＯが過剰になっている。

【００１３】以上のような理由から、O_2流量およびＣＯ流量をエッチング時間の進行とともに増加させれば、ボーイングを低減できる。O_2を流量０ｍｌ／ｍｉｎから８ｍｌ／ｍｉｎに、ＣＯ流量を５０ｍｌ／ｍｉｎから１２０ｍｌ／ｍｉｎに、時間に比例して増加させた場合の加工形状の寸法シフトを図２曲線２０２に示す。このように、過剰なＯを低減することによりボーイングが著しく低減する。

【００１４】しかしながら、単に流量を時間変化させたのでは、装置の状態に依存したエッチング停止の発生、流量の応答が遅いため、制御方法が配管の長さ、流量コントローラの機種等に依存する。これらに対応する手段として、酸化膜エッチングの進行をモニタし、このモニタデータを基に流量を制御する方法、バイアス印加等の応答時間の短いものを用い、過剰なＦおよびＯを除去する方法、さらにこれらを組み合わせた手法等が有効である。エッチングの進行をモニタする方法としては、プラズマの発光スペクトル、光学的な膜厚測定器、質量分析器、レーザー導入発光スペクトル等が上げられる。また、２つ以上の電子温度領域を制御できる場合、電子温度領域の幅の制御によりＦの解離をコントロールする手段がある。

【００１５】有機ケイ素膜および有機絶縁膜においては、過剰なＯもしくはＦもしくはＣｌによりボーイングが発生するほか、過剰なＮラジカルでも同様にボーイングが発生する。したがって、Ｏ、Ｆ、ＣｌおよびＮのいずれかを過剰なラジカルを抑制することによりボーイングは低減される。

【００１６】本発明は、酸化膜エッチングにおいてエッチング時間の進行とともに、ＯおよびＦラジカル入射量を調整し、ボーイングを抑制し垂直かつアスペクト比の高い加工形状が得られるエッチング方法を提供するものである。有機物を含む絶縁膜のエッチングおいては、この他、Ｎラジカルの入射量を調整することにより、ボーイングを抑制し垂直かつアスペクト比の高い加工形状が得られるエッチング方法を提供するものである。

【００１７】

【発明の実施の形態】（実施例１）図３の装置を用いた実施形態について説明する。この装置では、プラズマ処理室１の内部にアンテナ２３、アンテナ誘電体２８、および処理台５が設置されている。プラズマ処理室１にエッチングガスをアンテナ２３に設けられたガス導入口２４から導入し、高周波電源１７において生成した３００ＭＨｚから９００ＭＨｚの間の高周波をアンテナ２３からプラズマ処理室３５に導入してガスプラズマを発生させる。効率よくプラズマ処理室に効率良く高周波が伝搬するように、アンテナ２３とアンテナアース２９の間で高周波が所望のモード（ここでは、TM01）で共鳴するようにアンテナの外径とアンテナ誘電体２８の材質が決められている。高周波はアンテナとアンテナアースの間で共鳴し、アンテナ誘電体の周辺部よりプラズマ処理室に伝搬される。高効率放電のために磁場発生用のソレノイドコイル４をプラズマ処理室周辺に３つ配置し、０から３２０ガウスの間の磁場が処理台のほぼ真上にくるように２つのコイル電流を制御し、エレクトロンサイクロトロン共鳴（ＥＣＲ）を用いて電子密度が10^{11}個／cm^3以上の高密度プラズマを発生させる。プラズマ処理室１には処理台５があり、この上に被処理物６を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量コントローラ１０を通してプラズマ処理室１に導入され、排気ポンプ７によりプラズマ処理室１の外に排気される。被処理物を設置する処理台５には高周波電源１２を備え、４００ＫＨｚから１３．５６ＭＨｚ までの高周波バイアスを印加できる。処理台の位置は、アンテナから距離が２０ｍｍから１５０ｍｍの範囲で固定することができる。処理台５の周辺に幅３０ｍｍ程度（５ｍｍ以上１００ｍｍ以下で被処理物周辺のＦ消費効果がある）のフォーカスリング２５がウエハ周辺部に設置できる構造になっており、このフォーカスリングにウエハに印加される高周波がコンデンサー２６で分岐して10%から20%程度印加されるようになっている。このフォーカスリングは、下部がAlで上部が結晶Ｓｉの２層構造で、不純物ドープされたＳｉやＳｉＣを設置することもできる。アンテナ２３には、高周波電源１７とは異なる周波数（10kHzから27MHz）が印加できるように、フィルター回路１９に高周波電源２０が接続されている。アンテナ２３の材質は、プラズマ処理室側は、不純物ドープされたＳｉで、その反対側はＡｌである。

【００１８】この装置に、被処理物として図４に示す構造を持つ８インチシリコンウエハを搬送する。シリコンウエハ４０６上には厚さ４ｎｍのゲート酸化膜４０５、その上の一部に多結晶SiとWで形成された厚さ２００ｎｍ幅１００ｎｍのゲート電極４０４が形成されている。ゲート電極とゲート酸化膜上には、厚さ（最も厚い部分で）２０００ｎｍの酸化膜４０３（ＳＯＧとＣＶＤ酸化膜）が形成されている。その上部には、厚さ８０ｎｍの反射防止膜４０２と直径１２０ｎｍのホールパターンが

露光現像されたレジストマスク４０１が500nm形成されている。ゲート電極間にある酸化膜の幅は約１６０nmである。反射防止膜は、N_2とCF_4混合ガスプラズマによりすでにエッチングされている。

【００１９】この装置に、Ａｒ １２５０ｍｌ／ｍｉｎ、C_5F_8を２４ｍｌ／ｍｉｎ、O_2を３０ｍｌ／ｍｉｎをガス導入口よりプラズマ処理室に導入しガス圧力を２．５Ｐａにする。４５０MHｚ、１．８ｋWの高周波によりガスプラズマを生成し、処理台に８００ｋＨｚ、２０００Wのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。ウエハ表面からウエハ対向面であるアンテナ２３までの距離（ギャップ）が５０ｍｍになるように処理台の高さを調整し、ウエハ中心の真上３５ｍｍの位置およびウエハ周辺の真上４０ｍｍの位置で磁場強度が１６０ガウス、その位置における磁場勾配が８ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。アンテナには、１３．５６MHｚの高周波バイアスを２００W印加する。

【００２０】この条件で、１２０ｎｍ径のホールの酸化膜エッチング速度は約７００ｎｍ／ｍｉｎで、レジストに対する選択比は８程度である。エッチングは約１７０秒で底面のＳｉに到達するが、コンタクトを確実にするため、トータルで約２２０秒間エッチングを行う。この時の加工形状は、図４の加工形状４０８となり、ホール上部で酸素過剰により、ボーイングが発生する。ボーイング位置の寸法シフトは２０ｎｍ程度である。O_2流量の加工するホールのアスペクト比に依存し、アスペクト比１０では、エッチングが終了するまでにO_2流量を初期流量に対し６０％増加、アスペクト比２０では１２０％程度増加させる必要がある。

【００２１】ボーイングを低減するため、O_2流量をエッチング開始時に１５ｍｌ／ｍｉｎとし、エッチングが１０秒進む毎に０．８ｍｌ／ｍｉｎのO_2流量を増加させ、O_2流量３０ｍｌ／ｍｉｎ以降は一定になるように制御する。この条件でエッチングを行うと、エッチング初期に過剰な酸素が少なくなるため、保護膜が形成されボーイングが大幅に抑制され、図４の加工形状４０９のごとくエッチングされる。エッチング中のトータルのＯラジカル入射量も少なくなるので、レジストマスクの残膜量も３０％程度多くなる。

【００２２】上記、O_2流量の制御は、エッチング停止ぎりぎりのO_2流量であるため、プロセスの安定性が懸念される。プロセスの安定性をより確実なものにするため、発光スペクトルを測定しながら、O_2流量を制御する。図１の装置に発光分光器４０を光ファイバ４１を通して真空処理室に設置された窓３６に接続し、分光器４０と制御用コンピュータ３５をデータ線３７で接続する。発光分光器では、酸化膜のエッチャントであるCF_2（２８０ｎｍ付近）と反応生成物ＳｉＦ（４４０ｎｍ付近）の発光を観測する。エッチング停止が発生すると、CF_2が増え、ＳｉＦが減少する。精度を上げるため、ＳｉＦ／CF_2発光比の減少によりエッチング速度の低下がわかる。比エッチング面積５％程度では、エッチングの有無によりこの発光強度比は１０％程度変化する。この発光強度比の変化によりO_2流量を増加させることにより、装置状態が多少変化しても、エッチング停止の問題なく、安定してボーイングの少ない加工形状を得ることができる。ここでいう、装置状態とは、真空処理室内壁面の堆積物の厚さ、長時間使用後の状態、装置間の微妙な差等のことである。

【００２３】図３の装置においてガス流量コントローラ１０を制御用コンピュータ３５に接続し、O_2流量を発光強度比を基に制御する。エッチング条件は、上記とし、O_2初期流量を１５ｍｌ／ｍｉｎとし、最大O_2流量を３０ｍｌ／ｍｉｎとする。

【００２４】上記エッチング条件に対し、ＳｉＦ／CF_2発光強度比が約１秒間に０．５％減少するとＯ２流量を１ｍｌ／ｍｉｎ増加するように制御コンピュータで流量を制御する。O_2流量は順次増加し、最大の３０ｍｌ／ｍｉｎになる。この制御を用いると装置の状態に依存せずボーイングの少ないエッチング加工形状を得ることができる。同時にレジストマスクの残膜量も増える。

【００２５】発光スペクトルは、他の波長のCF_2およびＳｉＦを用いても同様な制御が可能である。発光強度としては、この他、C_2の変化で制御することも可能である。さらに、有機酸化ケイ素の場合、ＣＯやＯの発光強度の変化で制御してもよい。

【００２６】Ｏラジカルの入射量を低減する方法として、装置内にＯラジカルを消費させる機構を設ける手段がある。図３の装置で、アンテナ２３の材質を不純物ドープしたＳｉＣを用いると、アンテナバイアス印加によりＣとＯが反応しＯが消費される。したがって、アンテナバイアスを調整し、Ｏ入射量がコントロールできる。特に、この場合、ウエハとアンテナの距離が短い方がアンテナでの消費効果が大きく、ウエハとアンテナ表面の距離を１３０mm以上にすると、アンテナの反応生成物が再解離しＯを発生するため好ましくない。

【００２７】上述と同じガスを用い、Ａｒ１２５０ｍｌ／ｍｉｎ、C_5F_8を24ｍｌ／ｍｉｎでO_2流量を２５ｍｌ／ｍｉｎとする。アンテナバイアスパワー以外の条件は上記と同じとする。エッチング開始時にアンテナバイアスパワーを８００Wとする。アンテナＳｉＣの削れ量はアンテナバイアスパワーに比例するので、Ｏの消費量もほぼこれに比例する。アンテナバイアスを８００Wから１０秒毎に約４０Wづつ１００Wになるまで低減する。このアンテナバイアスの調整により過剰なＯラジカル量は抑制され、ボーイングがほとんど生じない。同時にレジストマスクの残膜量も増える。

【００２８】アンテナバイアスは、電源と制御コンピュータを接続することにより、CF_2／ＳｉＦ発光強度比の変化で制御する場合、同様な結果が得られると同時

に、安定した加工形状が得られる。

【００２９】抜け性を確保する（エッチング停止を防ぐ）ガスとしてO_2の代わりに、CF_4、C_2F_6、SiF_4、SF_6、CF_3OF、$CF_2(OF)_2$、CF_3I等のF含有ガスを用いても同様な結果が得られる。Fラジカルで抜け性を確保する場合、アンテナとして、SiCの代わりにSiを用いても同様な結果が得られる。この他、COガスでも同様な効果が得られる。N_2ガス添加により抜け性を確保する場合、CおよびSiCのアンテナを用いてもよい。

【００３０】アンテナで過剰FおよびOを除去する場合、アンテナ材としてC、導電性有機物等でも同様な効果が得られる。バイアスが印加される程度の厚さであればアンテナ材として絶縁体を用いてもよく、厚さ2から6mm程度のポリイミド板、セラゾール板等の有機物、および不純物の少ないSiC板でも同様な効果が得られる。

【００３１】エッチングガスとしてC_5F_8に限らず、CHF_3、C_2F_4、C_3F_6、C_4F_6、C_4F_8、C_5F_6、C_6F_6、$C_2F_4H_2$、C_2F_5H、$C_3F_6H_2$、C_3F_7Hを用いても同様な効果が得られる。希釈ガスとしては、Arに限らず、He、Ne、KrもしくはXeガスを用いてもよい。

【００３２】Fの発生量を制御する方法として、プラズマのECR領域以外の電子温度が低い部分Fが選択的に発生することから、ECR領域の磁場勾配を制御しFラジカルの量を制御することによっても同様な効果が得られる。ECR領域の広がりは、磁場勾配に反比例するので、エッチング初期は磁場勾配を小さくし、エッチングの経過とともに磁場勾配を大きくすればよい。この際、イオンの入射量が磁場勾配を大きくすると小さくなるので、プラズマを生成するための高周波パワーを同時に大きくする必要がある。具体的には、高周波（UHF）の周波数が450MHzの場合、ウエハ中心上部の磁場強度が160Gになる位置における磁場勾配を4G／cmから20G／cmに時間経過とともに増加させ、同時にUHFパワーを1．6kWから2．0kWに高くすればよい。磁場勾配を発光スペクトルで上記のごとくコントロールしてもよい。

【００３３】ウエハとウエハ対抗面（アンテナ）の距離を調節しても上記と同様な結果が得られる。

【００３４】被エッチング膜が有機酸化ケイ素膜の場合も同様な効果が得られる。

【００３５】（実施例２）図５の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置では、図３の装置で下部電極の高周波電源１２からパワー分配機４３でパワーを分割し位相を調整してアンテナにバイアスが印加できる構造になっている。

【００３６】この装置に、被処理物として図６に示す構造を持つ８インチシリコンウエハを搬送する。図には記載していないが、シリコンウエハ上にはトランジスタ構造がありその上は酸化膜層６０７で覆われている。酸化膜６０７の上には、Cu配線６０８が形成されその周辺は、酸化膜６０５および有機絶縁膜６０６で覆われている。Cu配線の上には厚さ５００nmの有機絶縁膜６０４、厚さ５０nmの酸化膜６０３が形成され、有機絶縁膜の上下部は絶縁物の接着剤で接合されている。さらにその上部には、厚さ８０nmの反射防止膜６０２と直径１５０nmのホールパターンが露光現像されたレジストマスク６０１が６００nm形成されている。反射防止膜は、N_2とO_2の混合ガスプラズマによりすでにエッチングされている。

【００３７】この装置に、Ar　５００ml／min、C_4F_8を２０ml／min、O_2を１０ml／minをガス導入口よりプラズマ処理室に導入しガス圧力を２．０Paとして酸化膜をエッチングする。次に有機絶縁膜をエッチングするため、NH_3ガスを１００ml／min導入し、ガス圧力を３Pa、電源周波数を４５０MHzとし、パワー１．０kWをアンテナより導入しガスプラズマを生成する。アンテナには、８００kHzの高周波バイアスが１００W印加されるように分配機４３のコンデンサおよびコイルを調整する。ウエハ表面からウエハ対向面であるアンテナ２３までの距離（ギャップ）が７０mmになるように処理台の高さを調整し、ウエハ中心の真上３５mmの位置およびウエハ周辺の真上５０mmの位置でにおける磁場強度が１６０ガウス、ウエハ中心上の磁場強度１６０ガウスの位置における磁場勾配が12ガウス/cmとなるようにコイル電流を調整する。処理台に４００kHz、３００Wのバイアスを印加し、有機膜をエッチングする。

【００３８】この条件で、１５０nm径のホールの酸化膜エッチング速度は約５００nm／minで、レジストに対する選択比は１．３程度である。エッチングは約６０秒で底面のCuに到達するが、コンタクトを確実にするため、約８０秒エッチングする。この時の加工形状は、ホール上部でのN過剰により、ボーイングが発生する。

【００３９】HはNと側面で反応してNを除去する効果があるので、エッチング初期にH_2を２４ml／min添加し、１０秒毎に４ml／minずつ減づる。導入するNの量に対し、エッチング初期に５%から５０%のH_2を添加すると効果がある。エッチング初期の過剰Nが少なくなり、図６の加工形状６１０に示すようにボーイングが少ない加工形状が得られる。H_2の代わりにCH_4、C_2H_6、C_2H_2、CH_3OH等を用いても同様であり、かつこれらの添加ガスが可燃性であることからAr等の希ガスで希釈しても同様な結果が得られる。エッチングガスとしてNH_3を用いたが、N_2とH_2の混合ガスでも同様に、H_2流量の調整でほぼ同じ効果が得られる。エッチングガスとしてN_2とO_2を用いる場合は、O

の反応性が高いので、O_2流量の調整で同様な効果が得られる。

【００４０】アンテナ材としてＣもしくはＳｉＣを用いる場合、アンテナバイアスの調整により、上記酸化膜エッチングの場合と同様に過剰Ｎもしくは過剰Ｏを抑制することにより、ボーイングの少なく加工形状が得られる。

【００４１】発光スペクトルによってアンテナバイアスもしくはガス流量を調整する場合、ＣＮ発光強度がエッチング速度に関連づけられるので、ＣＮの発光強度が小さくなるに伴い、H_2、CH_4等の流量を減少させればよく、O_2流量の場合ＣＮ発光強度が小さくなるに伴い、増加させると、ボーイングが小さく押さえられる。

【００４２】上記は、有機絶縁膜のホール加工に適用したが、溝パターンの加工においても同様にボーイングを小さくすることができる。

【００４３】（実施例３）次に図７の装置を用いた別の実施形態について説明する。この装置ではプラズマ処理室１にガス導入口６６よりエッチングガスを導入し、第一の高周波電源６１および第二の高周波電源６２において０．５－１５ＭＨｚの間の高周波を発生させ、この高周波をリングアンテナ（もしくはループアンテナ）６３，６４からそれぞれセラミック材料６５を通してプラズマ処理室１に導入してガスプラズマを発生させる。プラズマの電子密度は10^{11}個／cm^3以上の高密度プラズマになる。プラズマ処理室１には処理台５があり、この上に被処理物６を設置して、ガスプラズマによりエッチング処理する。エッチングガスは、ガス流量制御装置を通してプラズマ処理室１に導入され、排気ポンプ７によりプラズマ処理室１の外に排気される。被処理物を設置する処理台５には高周波電源１２を備え、４００ＫＨｚから１３．５６ＭＨｚ までの高周波バイアスを印加できる。ウエハ対向面は、不純物を含むＳｉとＳｉＣが各々約３０％と約７０％のセラミック材料６５で、接地してあるある。ウエハとセラミック材料の内面までの距離は２０ｍｍから１５０ｍｍの間で調整できるように処理台５に上下機構が設置されている。

【００４４】この装置に、被処理物として８インチシリコンウェハを搬送する。このシリコンウェハ上には厚さ２μｍの酸化膜が形成されその上部にはマスクパターンを転写したレジストマスクが形成されている。レジストマスクには、１５０ｎｍ径のホールが形成されている。

【００４５】この装置に、Ａｒ５０ml/min、C_3F_8を２０ml/min、Ｓｉ（OCH_3）$_2F_2$を４ml/minガス導入口より処理室に導入しガス圧力を0.7Ｐａとし、ウエハとセラミック材料内壁面までの距離を70㎜となるように処理台を調整する。１．８ＭＨｚ の１０００Ｗの高周波を第一のリングアンテナ６３に印加し、２．２ＭＨｚの７００Ｗの高周波を第二のリングアンテナ６４に印加し、ガスプラズマを発生させ、処理台に２ＭＨｚ，１２００Ｗのバイアスを印加し、酸化膜をエッチングする。この条件では、エッチング速度は約６００ｎｍ／ｍｉｎであるが、ボーイングが発生する。

【００４６】過剰なＦを低減するため、エッチング中に、Ｓｉ（OCH_3）$_2F_2$流量を１４ml/minから４ml/minに減らしてエッチングを行う。流量の変化量は２０秒毎に１ml/minとした。過剰なＦがＳｉおよびＣＨ３で除去されるため、ボーイングは大幅に低減する。

【００４７】ガス種としてはＳｉ（OCH_3）$_2F_2$の他に、Ｓｉ（CH_3）$_2F_2$、Ｓｉ（CH_3）$_2Cl_2$、Ｓｉ（OCH_3）$_2Cl_2$、Ｓｉ（CH_3）$_3H$、Ｓｉ（CH_3）$_2H_2$、SiH_4、Si_2H_6、$SiCl_2H_2$等でもよい。

【００４８】エッチングガスとしてC_3F_8に限らず、CHF_3、C_2F_4、C_3F_6、C_4F_6、C_4F_8、C_5F_6、C_5F_8、C_6F_6、$C_2F_4H_2$、C_2F_5H、$C_3F_6H_2$、C_3F_7Hを用い、ホール抜け性を確保するためO_2添加する場合でも同様な効果が得られる。希釈ガスとしては、Ａｒに限らず、Ｈｅ、Ｎｅ、ＫｒもしくはＸｅガスを用いてもよい。

【００４９】発光スペクトルの測定装置とマスフローコントローラを図３に示したのと同様に接続すれば、発光スペクトルで流量を制御することも可能である。

【００５０】エッチングガスとしては、実施例１で用いるガスを用いても、実施例１と同様な制御でボーイングを低減することができる。

【００５１】実施例で用いた装置の他、図７で示す空洞共振器を持つエッチング装置や、図８に示す大気アンテナのエッチング装置、平行平板型の装置でも同様な効果が得られる。図７および図８の装置には、プラズマが接触する部分にアンテナ等の電極が無いので、プラズマ処理室内にＳｉ板、ＳｉＣ板、Ｃ板等を設置し、これに高周波バイアスを印加することで、アンテナと同様な効果を得ることができる。

【００５２】

【発明の効果】本発明により、エッチング中のＦおよびＯラジカル入射量が適性に制御されるため、エッチング速度および選択性を維持して、ボーイングを抑制されるため、アスペクト比の高いコンタクトホールおよび有機物を含む薄膜のエッチングにおいて、高い垂直加工形状が得られる。

【００５３】本発明により、半導体デバイスの微細ホール加工および絶縁膜の溝加工で垂直性が向上するため、デバイスの不良が少なくなる。

【図面の簡単な説明】

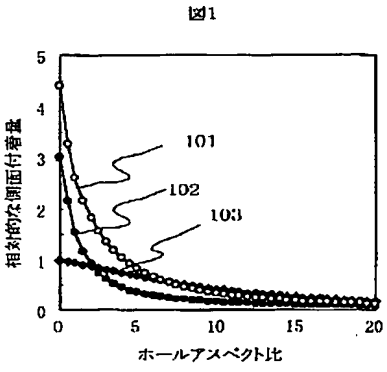
【図１】本発明で用いるホール側面に付着もしくは反応するラジカル量のホールアスペクト比に対する依存性を示す概念図である。

【図２】本発明に用いる寸法シフトのホールアスペクト比依存性を示す図である。

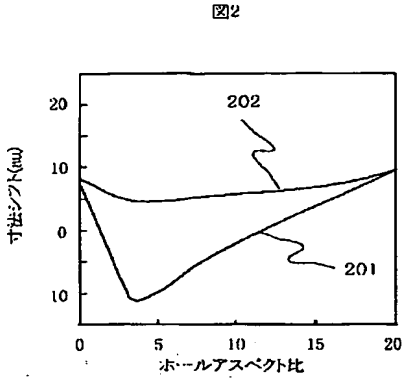
【図３】本発明で用いるドライエッチング装置の断面お

よび制御コンピュータとの接続を示す図である。
【図４】本発明で用いる被処理物上の酸化膜ホールの加工前と加工後の形状の断面図である。
【図５】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面および制御コンピュータとの接続を示す図である。
【図６】本発明で用いる被処理物上の有機膜ホールの加工前と加工後の形状の断面図である。
【図７】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。
【図８】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。
【図９】本発明で用いる別のドライエッチング装置の断面図である。
【符号の説明】
１．プラズマ処理室、２．マイクロ波発生器、３．導波管、４．ソレノイドコイル、５．処理台、６．被処理物、７．排気ポンプ、８．排気バルブ、９．コンダクタンスバルブ、１０．ガス流量コントローラ、１１．ガス導入口が形成された誘電体、１２．処理台用の高周波電源、１３．石英の真空容器、１４．アルミナのサセプタ、１６．搬送用ゲートバルブ、１７．高周波電源、１８．スタブチューナー、１９．高周波フィルタ、２０．第３の高周波電源、２１．ヨーク、２２．アルマイト処理したAl内筒、２３．平板アンテナ、２４．ガス導入口、２５．Ｓｉフォーカスリング、２６．コンデンサー、２７．被処理物に高周波を印加するために設けられたＡｌ電極、２８．アンテナ誘電体、２９．アンテナアース、３０．金属の真空容器、３１．高周波導入窓、３２．空洞共振器、３３．石英板、３４．大気アンテナ、３５．制御用コンピュータ、３６．光ファイバー用の窓、３７．分光器の信号線、３８．アンテナバイアス制御用の信号線、３９．ガス流量制御用の信号線、４０．分光器、４１．光ファイバーケーブル、４２．高周波分配器の制御用信号線、４３．高周波分配器、１０１．ＦとＯのホール側面における反応量の和を示す曲線、１０２．Ｃのホール側面における付着量を示す曲線、１０３．CF_2のホール側面における付着量を示す曲線、２０１．従来プロセスによるホールの寸法シフト量を示す曲線、２０２．本発明によるホールの寸法シフト量を示す曲線、４０１．露光処理したレジストマスク、４０２．反射防止膜、４０３．酸化膜、４０４．ゲート酸化膜、４０５．ゲート電極、、４０６．不純物ドープしたシリコンウエハ、４０７．加工前のウエハの断面図、４０８．従来プロセスによる加工後のウエハ断面図、４０９．本発明による加工後のウエハ断面図、６０１．露光処理したレジストマスク、６０２．反射防止膜、６０３．第一の酸化膜、６０４．第一の有機薄膜、６０５．第二の酸化膜、６０６．第二の有機薄膜、６０７、第三の酸化膜、６０８．Ｃｕ膜、６０９．加工前の被処理物の断面図、６１０．本発明による加工後の被処理物の断面図、６１．第一の高周波電源、６２．第二の高周波電源、６３．第一のリングアンテナ、６４．第二のリングアンテナ、６５．セラミック材料、６６．ガス導入口。

【図１】

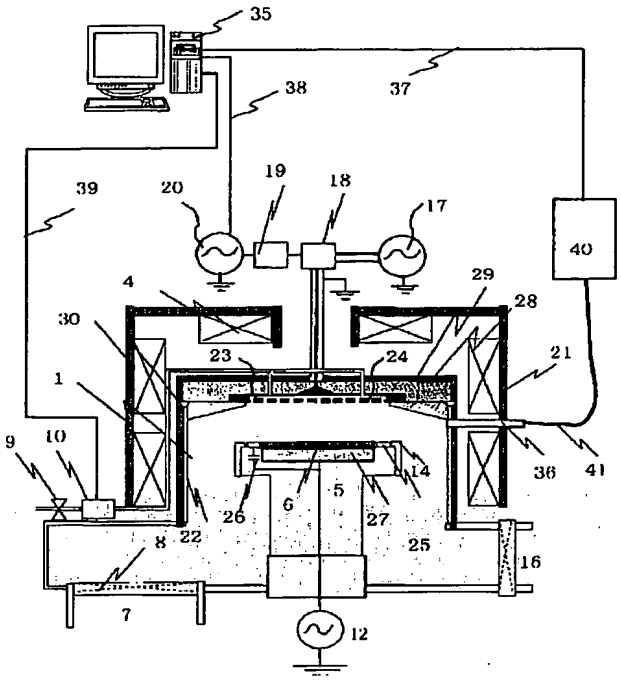


【図２】



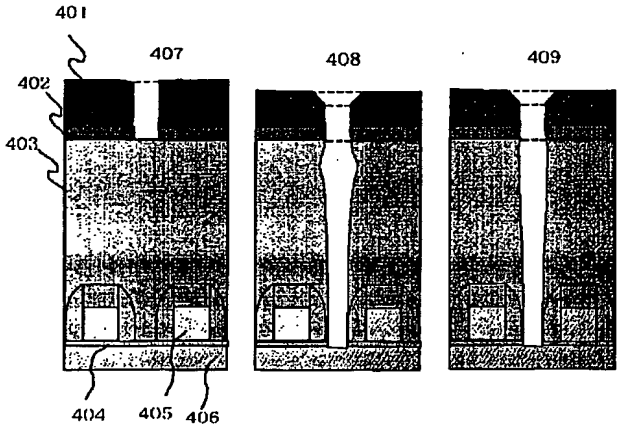
【図３】

図3



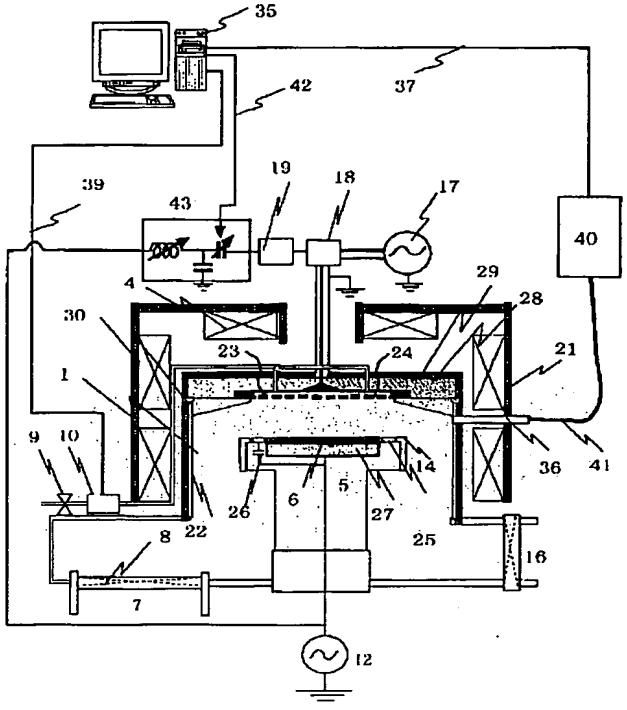
【図４】

図4



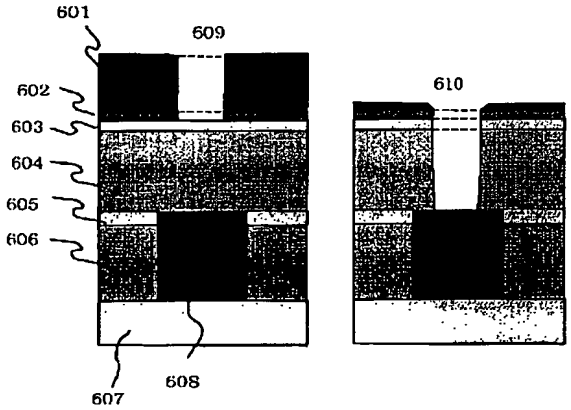
【図５】

図5



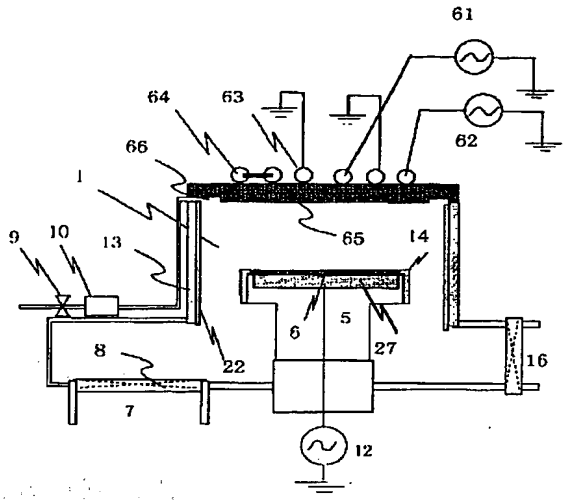
【図６】

図6



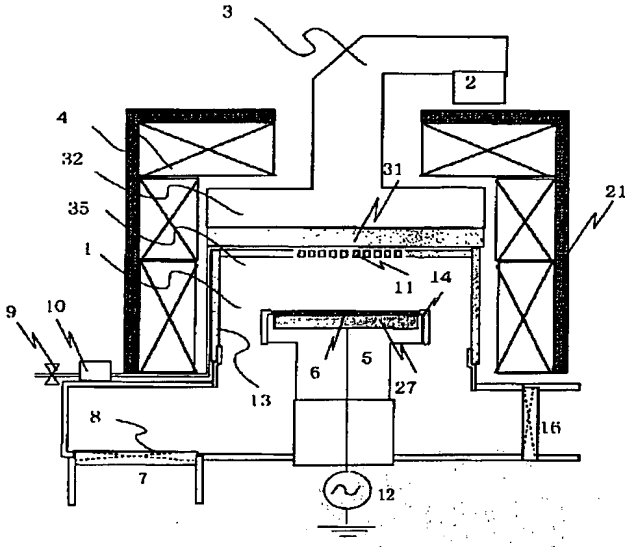
【図７】

図7



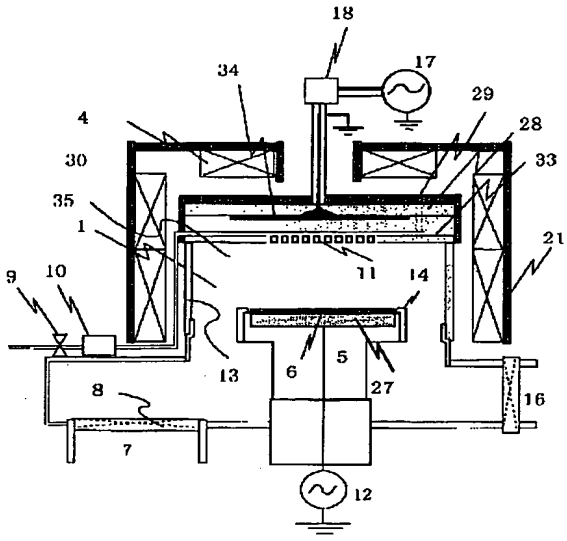
【図８】

図8



【図９】

図9



フロントページの続き

(51) Int. Cl.[7]	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H05H 1/46		H01L 21/90	A

(72)発明者 根岸 伸幸
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 桃井 義典
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

(72)発明者 田地 新一
東京都国分寺市東恋ケ窪一丁目280番地
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 4K057 DA11 DA12 DA13 DB20 DD01
DD08 DE06 DE14 DG07 DG12
DG15 DN01
5F004 BA14 BB07 BB11 BB13 BB29
BC03 CA02 CA03 CA06 CA08
CB02 CB04 CB10 DA00 DA01
DA02 DA03 DA18 DA24 DA26
DB03 EA22
5F033 KK01 KK11 QQ09 QQ12 QQ15
QQ37 RR04 RR09 RR21 SS11
TT04 WW01 WW06 WW07 WW10
XX00